

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh moderní technologie obrábění složitě součástí

Design of modern technology for
machining complex parts

Student:

Barbora Slezáková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Barbora Slezáková**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh moderní technologie obrábění složité součásti**
Design of modern technology for machining complex parts
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění složitých součástí.
3. Návrh vlastního řešení pro vybranou součást.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

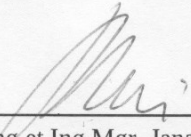
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

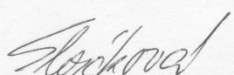


Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použila interní údaje a technické parametry získané od firmy ZLKL, s.r.o., firma se zveřejněním některých údajů nesouhlasí.

V Ostravě dne 18.5.2020

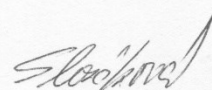

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18.5.2020



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Barbora Slezáková

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nerudova 143, 789 73 Úsov

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SLEZÁKOVÁ, B. *Návrh moderní technologie obrábění složité součásti: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2020, 46 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá návrhem moderní technologie obrábění pro danou součást. V úvodní části je popsána obecná charakteristika součásti a problematika obrábění složitých součástí. Následně jsou zvoleny vhodné obráběcí stroje a další stroje, které jsou nutné pro automatizovanou linku. Následuje volba vhodných obráběcích nástrojů a řezných podmínek. V kapitole diskuze experimentů je provedena kontrola rozměrů, drsností a předepsaných geometrických tolerancí. Na konci práce je provedeno celkové technické a ekonomické zhodnocení a provedena kontrola dodržení výrobní série.

ANOTATION OF THESIS

SLEZÁKOVÁ, B. *Design of modern technology for machining complex parts: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2020, 46 p. Thesis head: Vrba, V.

The bachelor thesis deals with the design of modern machining technology for a complex component. In a introductory part describes the general characteristics and the problems of machining complex components. Subsequently are selected suitable machining machines and other machines that are necessary for automated line. Follows choice of a suitable machining tools and cutting conditions. In the chapter of discussion are checked experiments, the dimensions, roughness and prescribed geometric tolerances. At the end of the work is done general technical and economic evaluation and verification of the achievement of the production series.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod.....	9
1 Obecná charakteristika daného problému.....	10
1.1 O firmě ZLKL, s. r. o.	10
2 Problematika obrábění složitých součástí	11
2.1 Obráběcí stroje	11
2.1.1 Druhy soustruhů dle konstrukčního hlediska.....	11
2.2 Programování CNC strojů	14
2.2.1 Způsob programování.....	15
2.2.2 Souřadné systémy CNC strojů	15
2.2.3 Vztažné body u CNC strojů	16
2.3 Způsoby upínání obrobků	17
2.4 Způsoby upínání nástrojů	20
3 Návrh vlastního řešení pro vybranou součást.....	22
3.1 Materiál součásti	22
3.2 Návrh výrobního postupu součásti.....	23
3.2.1 Volba obráběcích strojů	23
3.2.2 Volba dalších strojů nutných pro automatizovanou linku	26
3.2.3 Návrh celkového výrobního postupu.....	27
3.2.4 Volba obráběcích nástrojů, držáků a VBD	35
Řezné podmínky VBD:	36
3.2.5 Stanovení skutečných řezných podmínek pro operace OP 10 a OP 30	37
4 Diskuze experimentů.....	38
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	40
5.1 Docílení navrhované výrobní série	40
5.2 Ekonomické zhodnocení.....	41

Závěr	43
Seznam použité literatury	45

Seznam použitých značek a symbolů

Zkratka	Jednotka	Název
A	[%]	tažnost
a_p	[mm]	hloubka třísky
CAM	[-]	počítačem podporované navrhování
CNC	[-]	číslicové řízení počítačem
f	[mm]	posuv nástroje při obrábění
h	[-]	počet hodin za směnu
KV	[J]	nárazová práce
L_0	[mm]	délka
n	$[\text{min}^{-1}]$	počet otáček
NC	[-]	řídící program CNC stroje
p_{ks}	[-]	počet kusů za směnu
p_{ksd}	[-]	počet kusů vyrobených za den
p_{ksr}	[-]	počet kusů vyrobených za rok
p_{kst}	[-]	počet kusů vyrobených za měsíc
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti
t	[s]	čas na výrobu jednoho kusu
VBD	[-]	výměnná břitová destička
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost

Úvod

Strojírenství je obor, který patří mezi nejstarší a nejobsáhlejší a neustále se vyvíjí a zdokonaluje. Obrábět se začínalo na soustruzích, které se později začali programovat počítačově. Tyto stroje dostali označení CNC, tedy číslicově řízené stroje. Řadí se mezi konvenční typy obrábění a dá se říct, že stále patří mezi nejpoužívanější metody obrábění. Číslicově řízené stroje jsou nedílnou součástí strojírenského průmyslu. Jejich obsluha, údržba a zaučení pracovníků na CNC stroje není složitá, ale u tohoto typu obrábění musíme brát v úvahu lidský faktor.

Jelikož jsou kladeny stále větší nároky na kvalitu obrobených povrchů a na rychlost výroby, začíná se ve větších firmách rozšiřovat využití robotizace a automatizace pracovních procesů. Mimo to se začaly rozrůstat i nekonvenční metody obrábění.

V dnešní době je konkurence strojírenských firem velká, je proto důležité, aby se výrobky vyráběly co nejkvalitněji, nejpresněji a s co největší rychlostí, aby se firmy na trhu užívaly. Například obrábění vysokými rychlostmi či posuvy nám umožní zvýšit kvalitu obrobeného povrchu bez vzniku nežádoucích pnutí, zvýšit úběr třísek. Ale s novými technologiemi roste i náročnost na údržbu, nutnost odborné znalosti technologů, rostou náklady na CAM software a jsou nutné speciální řezné nástroje. Musíme proto brát v potaz, zda je finančně výhodné využití moderních technologií a zda se vyplatí investice do nových modernějších strojů.

Mezi úspěšné firmy patří firma Závod lehkých konstrukcí Loštice (dále jen „ZLKL, s.r.o.“). Firma ZLKL, s.r.o. je malá rodinná firma, která se neustále rozrůstá a vyvíjí se. Díky své schopnosti rychle reagovat na požadavky klientů roste tržbami i počtem zaměstnanců.

Cílem bakalářské práce je v této firmě navrhnout vhodnou technologii výroby dané součásti. V následujících kapitolách je nastíněna problematika obrábění složitých součástí a popsán návrh vlastního řešení obrábění této součásti. Na konci bakalářské práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení výroby zadané součásti.

1 Obecná charakteristika daného problému

Obrábění je pracovní proces, při kterém polotovary dostávají požadovaný tvar a rozměr finální součástky úběrem materiálu. Při obrábění je důležité stanovení a dodržení řezných podmínek a výběr vhodného nástroje (soustružnického nože). V poslední době se rozšiřují nekonvenční metody obrábění, kterými jsou elektroerozivní, elektrochemické, elektronovým paprskem, laserovým paprskem, ultrazvukem.⁴

Cílem této práce je navrhnout vhodnou technologii výroby součástí a vhodné obráběcí stroje. Podle zvolených strojů zvolit vhodné obráběcí nástroje a řezné podmínky pro obrábění. Plán výroby je 750 000 – 800 000 kusů za rok.

1.1 O firmě ZLKL, s. r. o.

Firma ZLKL je strojírenská firma, která na trhu působí 25 let. Zabývá se obráběním, lisováním, svařováním, povrchovými úpravami, 3D kontrolou a také vývojem a konstrukcí. Firma se neustále vyvíjí a rozrůstá. Počet zaměstnanců je nyní okolo 200 a neustále roste. Zhruba 60% výroby směřuje na export. Kromě České republiky dodává firma také do Francie a Německa.

Společnost byla založena roku 1993, kdy zaměstnávala pouze 45 zaměstnanců. Hlavním programem byla výroba nábytkového kování a výsuvných roštů pro sedací soupravy.

O rok později se firma začala zabývat výrobou rámců zadních sedadel pro vozy Škoda Felicia, které se dodávali firmě KARSIT HOLDING, s.r.o. V tomto roce stoupl počet zaměstnanců na 80.

V roce 1996 se firma začala zaměřovat na lisování, zpracování plechů, svařování dílů v ochranných atmosférách a obrábění litinových a ocelových dílů pro alternátory a elektromotory.

Nejznámějším výrobkem, který firma ZLKL v roce 2006 vyrobila je celosvětově unikátní vozidlo Elbee pro tělesně postižené.²

Projekt Elbee byl pro společnost jeden z největších. Výhodou Elbee vozidla je, že vozíčkáři mohou řídit přímo z invalidního vozíku. Elbee je benzínové vozidlo, které dosahuje rychlosti 80 km/h při průměrné spotřebě 4,5 l na 100 km, váží pouhých 400 kg. Maximální výkon je 12,5 kW a objem motoru 300 ccm.³



Obrázek 1.1 – Vozítko Elbee ³

2 Problematika obrábění složitých součástí

Tvarově složitá součást je taková součást, která netvoří pravidelný obrys. Součást může být složitá z hlediska dodržení přesných tolerancí jak rozměrových tak i geometrických. O složitých součástech můžeme hovořit i ve smyslu problému s jejich upínáním do stroje. Patří sem například části motorů nebo různé tvářecí nástroje.

Obrábění takových součástí je nutno provést na několik obráběcích operací s použitím různých řezných nástrojů. Tímto dochází ke značným časovým prodlevám ve výrobě. Z tohoto důvodu se zavádí nekonvenční metody obrábění, zavádějí se automatizované výrobní systémy a robotizace, které značně zkrátí doby výrobního cyklu a zvýší produktivitu. Lze použít i víceosé obrábění. Tyto výše zmíněné metody jsou moderní a jejich využití stále roste. Avšak mezi nepoužívanější patří stále obrábění pomocí CNC strojů.

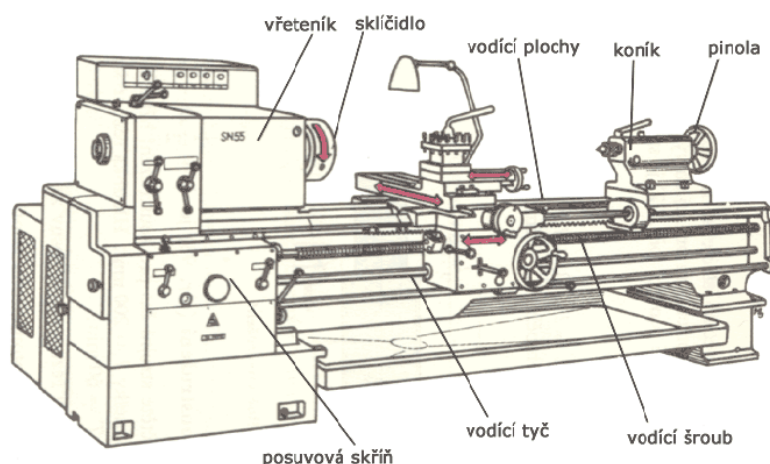
2.1 Obráběcí stroje

2.1.1 Druhy soustruhů dle konstrukčního hlediska

a) Hrotové soustruhy

Hrotové soustruhy patří mezi nejstarší soustruhy, mohou být jednoduché nebo univerzální a lze s nimi obrábět téměř cokoli. Univerzální hrotové soustruhy mají oproti jednoduchým soustruhům vodící šroub. Tímto soustruhem lze řezat závity, obrábět rovinné i čelní plochy, umožňuje také soustružit kuželové či tvarové plochy.

Tyto soustruhy se používají v kusové nebo máloseriové výrobě.⁷

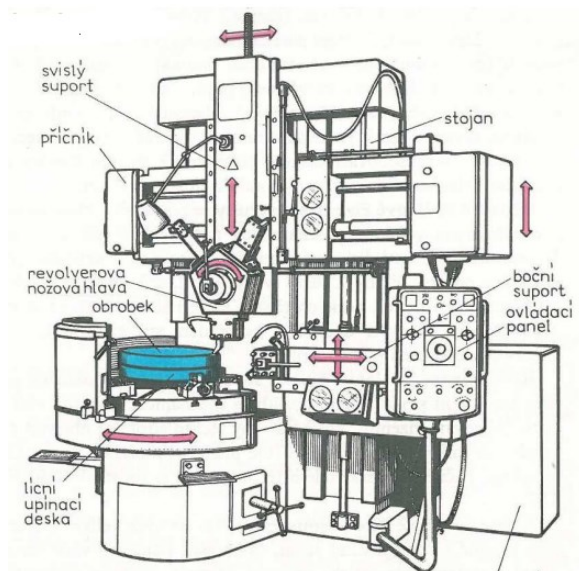


Obrázek 2.1 – Univerzální hrotový soustruh⁸

b) Svislé soustruhy

Svislé soustruhy se skládají z otočného stolu, příčníků se suportem a ze stojanů. Mohou být doplněny o indikaci polohy obrobku a o číslicové řízení. Nástroje se mohou pohybovat jak v příčném tak i ve vodorovném směru a jsou vhodné pro obrábění středních a velkých rotačních součástí.

Jejich použití je vhodné v máloseriové nebo kusové výrobě.⁷

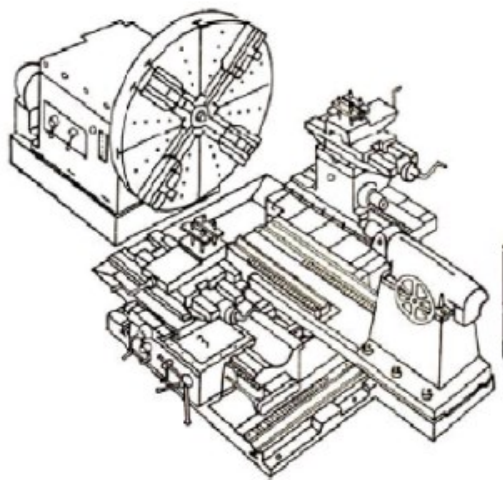


Obrázek 2.2 – Svislý soustruh⁹

c) Čelní soustruhy

Tyto soustruhy mají jeden nebo dva suporty a jsou bez koníku. Tyto soustruhy mají samostatný vřeteník s velkou upínací deskou. Deska může mít průměr až 5 m. Využití těchto

soustruhů není velké, spíše se nahrazují svislými soustruhy. Čelní soustruh se používá pro obrábění deskových součástí a s malým průměrem. ⁷



Obrázek 2.3 – Čelní soustruh ⁷

d) Revolverové soustruhy

Revolverové soustruhy jsou vhodné použít pro součásti, které vyžadují na obrábění více nástrojů. Mají vyměnitelnou revolverovou hlavici, ve které jsou upevněny řezné nástroje. U soustruhů tohoto typu se lehce a s přeností nastavují nástroje vůči obrobku. Tyto soustruhy jsou velice univerzální, můžeme jimi provádět operace jako vyvrtávání, vrtání, řezání závitů, soustružení příčné i podélné. Na revolverových soustruzích se většinou obrábí výkovky, výlisky či materiál tyčového tvaru. Celý cyklus je automatizován a může být řízen číslicově.

⁷

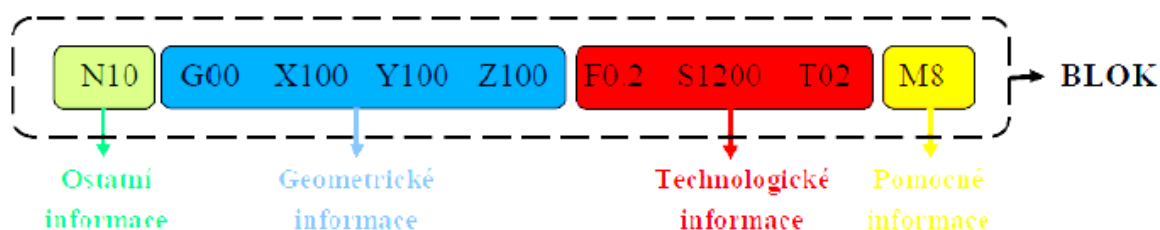


Obrázek 2.4 – Revolverový soustruh ⁷

Dále se soustruhy mohou ovládat ručně, poloautomaticky nebo automaticky. U poloautomatického ovládání je nutný zásah člověka pouze při výměně nástroje, upnutí nebo odepnutí obrobku.

2.2 Programování CNC strojů

Zkratka CNC (Computer Numeric Control) znamená číslicově řízené stroje. Tak jako počítače mají svůj operační systém, u strojů CNC se tento systém nazývá řídicí. Všechny funkce jsou prováděny pomocí programu. Potřebné informace jsou zapsány v tomto programu pomocí alfanumerických znaků a jsou řazeny do bloků.



Obrázek 2.5 – Příklad tvorby bloku ⁶

Tabulka 2.1 – Význam bloku ⁶

Popis struktury bloku		Druh informace
N	Číslo bloku	Ostatní
G	Přídavné funkce	Geometrické
X, Y, Z	Souřadnice	
F	Rychlost posuvu	Technologické
S	Otáčky vřetena	
T	Volba nástroje	
M	Pomocné funkce	Pomocné

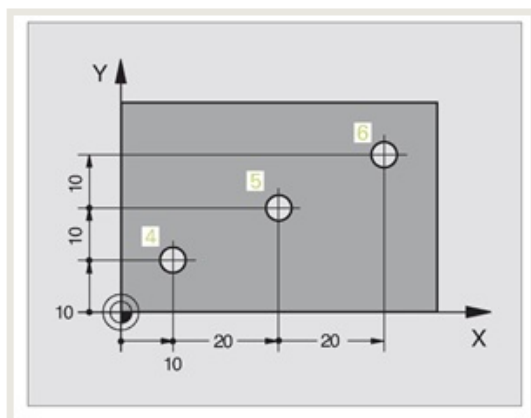
NC kód můžeme psát ručně, což se v dnešní době využívá velmi málo v malých firmách. Mezi nejvyužívanější programování kódů patří online programování přímo na CNC stroji. Velmi efektivní způsob je programování pomocí CAM systému, kde lze pomocí simulace vidět přesnou dráhu nástroje a je možno zkontrolovat případné kolize.

Každý soustuh je konstruován jinak, záleží k čemu je určen. U všech CNC strojů je důležité uložení a náhon vřetene, jaký upínací systém je zvolen pro upnutí nástrojů. Je nutno dbát v potaz, zda-li je upínání automatické či nikoliv. U složitých součástí je vhodné použít obráběcích center, které jsou schopna provádět více operací.

2.2.1 Způsob programování

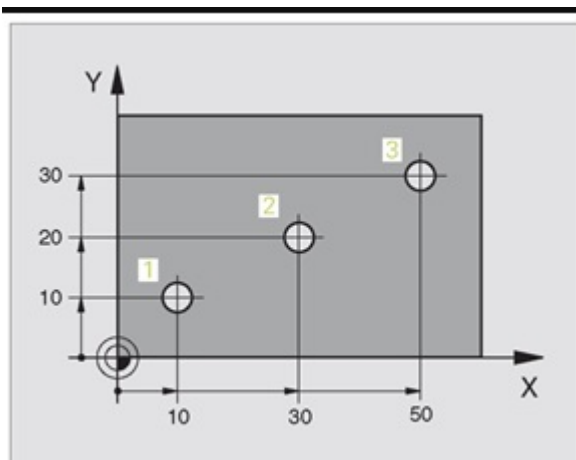
Existují dva typy programování a to přírůstkový nebo absolutní systém odměřování. Tyto dvě metody lze v programu kombinovat.

- a) **Přírůstkové programování (G91)** – používá se tam, kdy nejsou rozměry na výkresu vztaheny k jednomu počátku, ale řetězově na sebe navazují.



Obrázek 2.6 – Přírůstkové programování ¹²

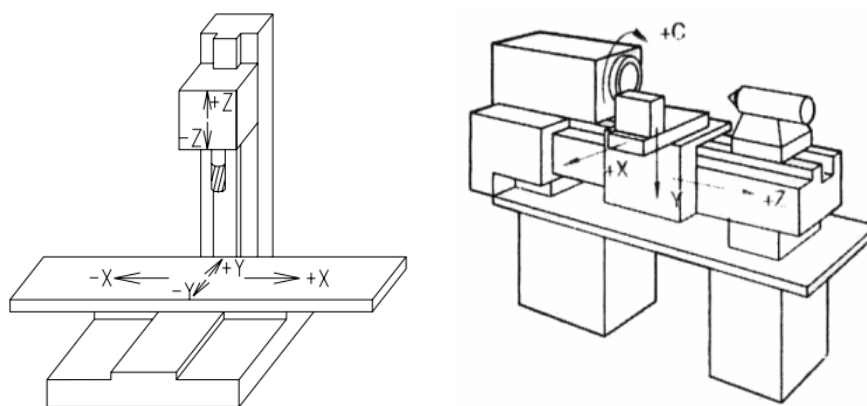
- b) **Absolutní programování (G90)** – všechny body se vztahují k nulovému bodu. Značí to, že při programování se souřadnice odměřují stále od počátku. ¹²



Obrázek 2.7 – Absolutní programování ¹²

2.2.2 Souřadné systémy CNC strojů

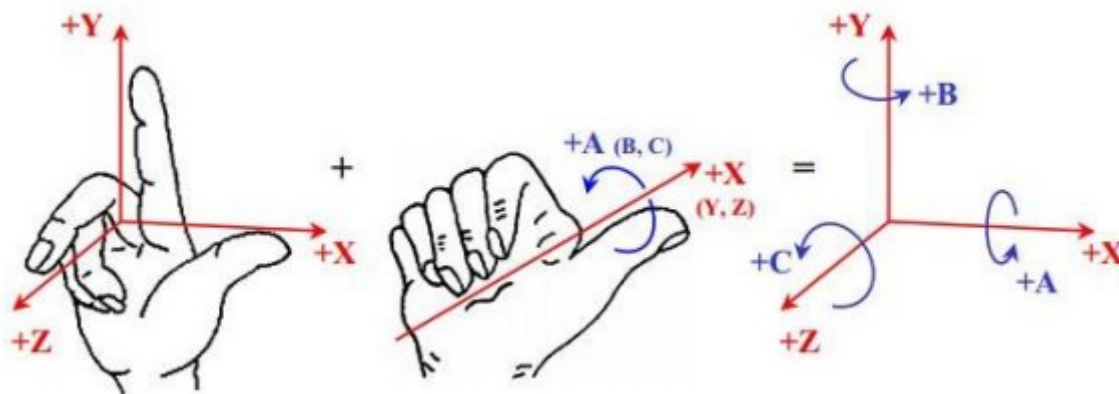
Důležitým faktorem u programování CNC strojů je určení souřadného systému. Základem je pravoúhlý souřadný systém X, Y, Z. Po těchto osách se pohybují nástroje. Tyto pohyby nástrojů a značení os stanovuje norma ČSN ISO 841.



Obrázek 2.8 – Souřadný systém u frézky (vlevo) a u soustruhu ¹³

Pravidlo pravé ruky slouží jako pomůcka pro orientaci v prostoru pro označení jednotlivých os. Toto pravidlo popisuje souřadný systém jako pravoúhlý systém vztažený k obrobku, který je upnutý na stroji. Palec na pravé ruce představuje osu X, ukazováček osu Y a prostředníček osu Z. Kladný směr os je od obrobku k nástroji. Pokud se obrobek pohybuje proti nástroji, značí se tyto osy X' , Y' , Z' . Doplňkové osy se značí U, V, W.

Osa X musí být vždy definována a leží v upínací rovině obrobku nebo je s rovinou rovnoběžná. Osa Z je rovnoběžná nebo totožná s osou vřetena. Pracovní vřeteno koná hlavní řezný pohyb. ¹⁴



Obrázek 2.9 – Pravidlo pravé ruky ¹⁴

2.2.3 Vztažné body u CNC strojů

M – Nulový bod stroje – počátek souřadného systému stroje a je dán výrobcem.

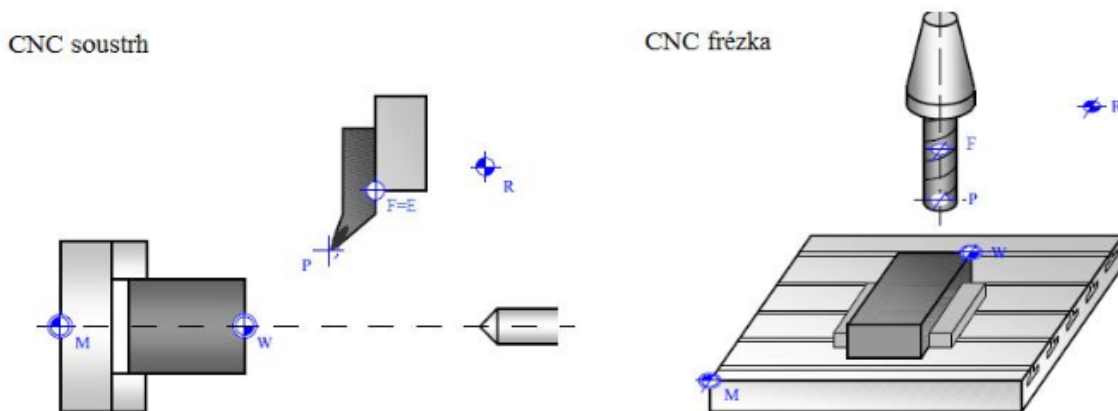
R – Referenční bod stroje – jeho funkce je nalezení nulového bodu stroje a určení polohy nástroje v souřadném systému, je dán výrobcem.

W – Nulový bod obrobku – tento bod volí programátor, od tohoto bodu se odvíjí všechny programované souřadnice.

P – Nulový bod nástroje – volí programátor, u soustružení leží na teoretické špičce nástroje, u frézování v ose nástroje.

F – Vztažný bod suportu nebo vřetene – bod výměny nástroje.

E – Bod nastavení nástroje – bod na držáku nástroje. ^{14,15}



Obrázek 2.10 – Vztažné body u CNC soustruhu a frézky

2.3 Způsoby upínání obrobků

Upínání musí splňovat určité podmínky:

- spolehlivost,
- jednoduchost,
- rychlost,
- tuhost a pevnost,
- spolehlivý přenos kroutícího momentu,
- bezpečnost upnutí,
- minimální náklady na provedení upnutí,
- nesmí bránit odchodu třísek a odtoku řezné kapaliny,
- zajištění jednoznačné polohy obrobku k nástroji.

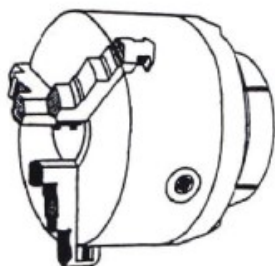
a) Univerzální sklíčidla

U poloautomatických a automatických soustruhů se používají samosvorná sklíčidla. Obrobek se automaticky sevře až se začne sklíčidlo otáčet. Podle počtu upínacích čelistí mohou být tříčelist'ová, čtyřčelist'ová nebo dvoučelist'ová, ty jsou ovšem málo používané. Do univerzálního sklíčidla upínáme pouze ty obrobky, které jsou dostatečně tuhé, aby nedošlo k deformaci obrobku.

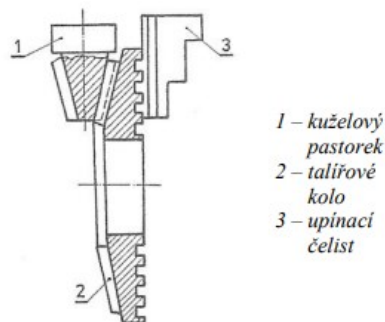
Důležitá část je talířové kolo (viz obr. 2.12) s kuželovým ozubením. Po obvodu talířového kola jsou kuželové pastorky, v nichž se nachází čtyřhranná díra pro utahovací klíč. Podle toho ve kterém smyslu otáčíme s klíčem, se buď čelisti přibližují ke středu (obrobek sevře) nebo oddalují (čelisti se rozevírají).

Univerzální sklíčidlo používáme jen tehdy, pokud je osa obráběné plochy ve stejné linii s osou soustružení. Díky tomuto dochází i ke středění obrobku.

Čtyřčelistové sklíčidlo je využíváno při upínání válcových i dokonce hranatých součástí. Princip upínání je stejný jako u tříčelistového.^{7, 10}



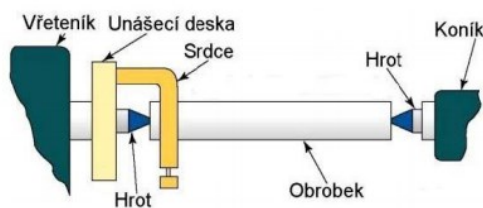
Obrázek 2.11 – Univerzální sklíčidlo⁷



Obrázek 2.12 – Řez univerzálního sklíčidla¹⁰

b) Upínání mezi hroty

Pro obrobky s poměrem délky a průměru větším než $2/3$ a pro obrobky s vyššími požadavky na přesnost se používá upínání mezi hroty. Nejdříve je nutné do obrobku navrtat středící důlky na čele obrobku, hroty se poté nasunou do těchto důlků.⁷



Obrázek 2.13 – Upínání mezi hroty⁷

c) Kleštiny

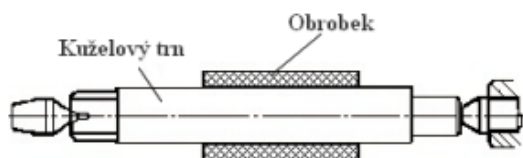
Obrobky menších průměrů se upínají do tzv. kleštin. Jsou to velmi přesná upínací pouzdra, mohou zajistit souosost 0,01 – 0,05 mm. Kleština má kuželovou vnější plochu a je podélně rozříznuta tak, aby se při zasouvání do vnitřní kuželové plochy svíralo a upnulo upínané těleso. Výhodou tohoto upnutí je jednoduchost a tuhost konstrukce oproti čelistovému sklíčidlu, možnost upnutí tenkostěnných a lehce deformovatelných materiálů.^{7,10}

d) Soustružnické trny

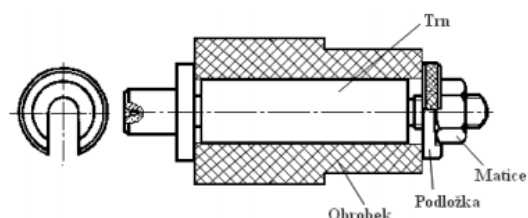
Na soustružnické trny upínáme obrobky s předem obrobenou dírou, na které lze upínat obrobky různého tvaru. Princip upínání je totožný s upínáním obrobku v kleštině. Na vnější průměr trnu se nasadí obrobek a upne se na soustruh.

Dělení trnů:

- Pevné – pro obrobky s přesně obrobenou dírou. Pevné trny dále dělíme:
 - kuželové,
 - válcové,
 - závitové,
 - speciální.

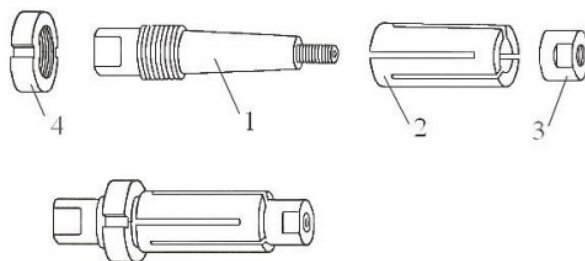


Obrázek 2.14 – Kůželový trn¹⁰



Obrázek 2.15 – Válcový trn¹⁰

- Rozpínací – tyto trny se volí tehdy, když nevyžadujeme vysokou geometrickou přesnost.¹⁰



Obrázek 2.16 – Rozpínací trn¹⁰

e) Upínání u CNC strojů

Upínání obrobků na CNC strojích je podobný jako u soustruhů. Z důvodu působení velkých odstředivých sil při soustružení je nutno dbát na síly při upínání. Z bezpečnostních důvodů je síla při upínání kontrolována čidlem. Obrobky se upínají pomocí samosvorných sklíčidel za vnější nebo vnitřní plochu, do kleštín či mezi hroty. U automatů a poloautomatů je možno použít čelní unašeč s odpruženými hroty.¹⁰

2.4 Způsoby upínání nástrojů

Zvolit správný upínač je velmi důležité a ovlivní výsledky celého procesu obrábění. Musíme brát v potaz, že každá technologie obrábění má své vlastní nároky na upnutí nástrojů. Nástroje by měly umožnit bezproblémový přísun procesních kapalin do místa řezu. Mezi další důležité požadavky patří jednoduchá obsluha, schopnost tlumit vibrace, dostatečná upínací síla a vyvážení upínače.

a) Upínače na CNC strojích

Mezi nejznámější upínače osazené kuželem s kuželovitostí 7/24 patří ISO upínače, MAS BT, CAT a upínací systém BIG-PLUS. Vyrábí se v několika velikostech (30, 40, 50, 60) dle velikosti stroje, čím větší je číslo, tím větší je i upínač.

ISO kužel – patří mezi nejrozšířenější, pro otáčky 4000 – 12000 za minutu.

MAS BT – podobné ISO upínačům, je možná strojní i ruční výměna držáku ve vřetenu stroje, lze využít i pro obráběcí centra.

BIG-PLUS – otáčky okolo 30 000 – 40 000 za minutu, lze použít pouze pro strojní výměnu.

HSK kužel – tento typ kužele má kuželovist 1:10, lehká manipulace díky menší hmotnosti, velmi využívaný díky spolehlivějšímu upnutí než u ISO kužele.⁶



Obrázek 2.17 – ISO kužel, HSK, BIG-PLUS⁶

b) Upínače dle typu upínání

Upínač Weldon – tyto upínače jsou určeny pro frézy s válcovou stopkou, které mají pro upnutí vyfrézovanou drážku na válcové ploše. Principem je mechanické upínání válcové stopky pomocí šroubu.

Nástrčné nástroje – způsob upínání je pomocí frézovacích trnů. Tyto trny se umísťují do pracovního vřetena stroje. Nástrčné nástroje se upínají ve formě pera, drážky nebo pomocí unašeče.

Morse kužely – velmi přesné nástroje, dokáží přenášet kroutící moment, který vzniká třením. Kuželová stopka Morse je Mk1, Mk2, Mk3, Mk4. Pro uvolnění kužele se používá vyražení z vřetene.

Kleštinový držák – nástroje se upínají s pomocí kuželové kleštiny, která se musí mechanicky zatáhnout do těla upínače. ⁶



Obrázek 2.18 – Kleštinový držák, upínač Weldon, Morse kužel ⁶

Mezi další způsoby upínání patří upínání do držáku. Mezi tyto upínače se řadí např. univerzální upínače SINO, hydraulické, silově-deformační, Coromant Capto, tepelné. Tyto upínače patří mezi nejpřesnější, dobře tlumí vibrace.

3 Návrh vlastního řešení pro vybranou součást

Funkce součástky je spojení spojky s převodovkou. Materiál součásti je z oceli a pouzdro, které se na již obrobenou součást nalisuje a je z termoplastu. Termoplast polyexymetylen je mnohostraně využívaný ve strojírenském, automobilovém průmyslu, leteckých technologiích atd. Tento technický plast má vysokou pevnost, tvarovou stálost, výborně se obrábí a tvoří krátkou třísku. Odolává teplotám od -40° do 100°C . Postup výroby součástky se skládá z operací soustružení, lisování plastového pouzdra, gravírování, načtení QR kódu a měření. Polotovar součásti se ve firmě nevyrábí, ale dováží se jako výlisek od firmy , plastový kroužek se dováží od firmy .¹⁹

Obrázek 3.2 – Polotovar součásti²⁵

Obrázek 3.1 – Plastový kroužek²⁵

3.1 Materiál součásti

Ocel je mikrolegovaná konstrukční ocel s jemnou strukturou a s vyšší mezí kluzu určené pro tváření za studena. Ocel je vyráběna válcováním za tepla.⁵

Tabulka 3.1 – Mechanické vlastnosti¹

Ocel	Re [MPa]	Rm [MPa]	A _{MIN} [%]		KV [J]
			L ₀ = 80 mm	L ₀ = 5,65 √S ₀	
			a < 3	a ≥ 3	

Tabulka 3.2 – Chemické složení¹

Chemické prvky v %								
C _{MAX}	Mn _{MAX}	Si _{MAX}	P _{MAX}	S _{MAX}	Al _{MIN}	Nb _{MAX}	V _{MAX}	Ti _{MAX}

3.2 Návrh výrobního postupu součásti

Dílec bude vyráběn v automatizované lince na vertikálních soustruzích EMAG. Aktuálně je řešen technický koncept a realizace výrobní linky pro roční výrobní objem 750 000 – 800 000 kusů ročně.

3.2.1 Volba obráběcích strojů

EMAG VL3

Na první operaci (OP 10) využijeme vertikální soustruh Emag VL3 od dovozce CZ.TECH Čelákovice. Soustruh je ideální pro automatické obrábění upnutých dílů. Řídicí systém stroje je FANUC, který umožňuje rychlé programování a snadnou obsluhu.



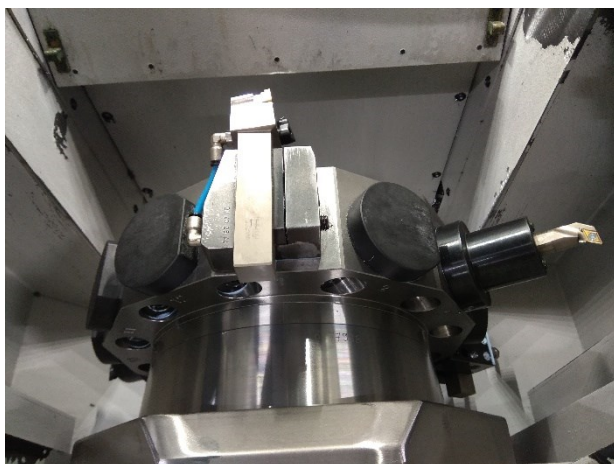
Obrázek 3.3 – Emag VL3¹⁶

Tabulka 3.3 – Pracovní rozsah soustruhu VL 3 ¹⁶

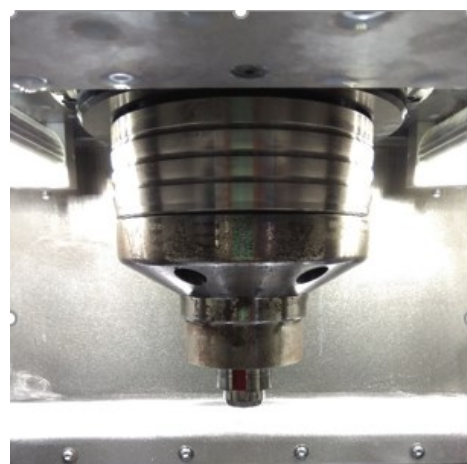
Průměr sklíčidla	170 (200) mm
Oběžný průměr	210 mm
Zdvih – X	570 mm
Zdvih - Z	200 mm
Čas nakládání	2 – 4 s
Max. rychlost posuvu na ose X	60 m/min
Max. rychlost posuvu na ose Z	30 m/min
Řídicí systém stroje	Fanuc

CNC soustruh má revolverovou hlavu s možností upnutí dvanácti nástrojů. Takto vysoký počet nástrojů umožňuje obrobení součásti bez nutnosti výměny, což má za následek výrazné snížení výrobních časů součásti. K upínání obrobků se používá kleština.

Maximální otáčky vřetene stroje dosahují až 5000 min⁻¹. Rychlost posuvu na ose X dosahuje 60 m/min a na ose Z 30 m/min. ¹⁶



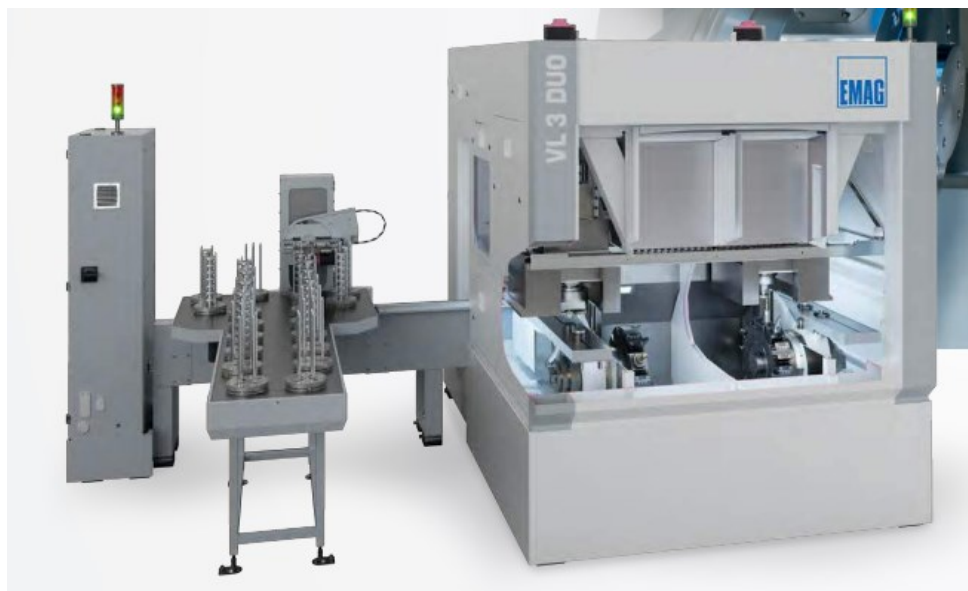
Obrázek 3.4 – Revolverová hlava s nástroji



Obrázek 3.5 – Kleština na stroji VL3

EMAG VL3 DUO

Z důvodu automatizace bude pro operaci soustružení OP 30 využit soustruh VL3 DUO. Tento soustruh má dvě oddělené pracovní oblasti k obrábění. Každá oblast má své vysoce výkonné vřeteno s revolverovou hlavou s možností upnutí 12 nástrojů, které mohou být neotáčivé soustruhové či poháněné. Tento soustruh je určen pro rychlé a přesné CNC obrábění díky výkonu 17,9 kW a točivému momentu až 144 Nm.



Obrázek 3.6 – EMAG VL3 DUO ¹⁷

Automatizační systém TrackMotion zajišťuje rychlou přepravu dílů mezi jednotkou ukládání a pracovními oblastmi a umožňuje otáčení součásti mezi dvěma operacemi bez nutnosti zásahu člověka, což výrazně zkrátí výrobní časy. Tento systém se skládá ze tří centrálních komponent, z tratě, uchopovače TransLift NC, který se pohybuje po trati a z úložné jednotky bere surové součástky.

17



Obrázek 3.7 – TrackMotion stroje VL3 DUO

Tabulka 3.4 - Technické parametry VL3 DUO ¹⁷

Max. průměr obrobku	150 mm
Max. průměr upínacího pouzdra	210 mm
Max. délka obrobku	110 mm
Osa X	505 mm
Osa Y	± 30 mm
Zdvih osy Z	250 mm
Otáčky hlavního vřetene	5 000 min ⁻¹
Výkon stroje	17,9 kW
Točivý moment	144 Nm
Řídící systém	Fanuc

3.2.2 Volba dalších strojů nutných pro automatizovanou linku

TruMark Station 5000

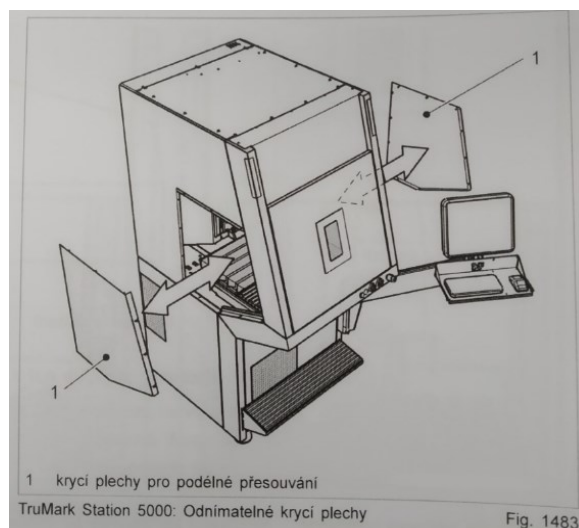
Laserová stanice od firmy TRUMPF je použita na gravírování QR kódu. Pro integrování do pracovní linky lze oddělat krycí plechy (viz obr. 3.9). Maximální rozměry obrobku jsou 680 mm x 500 mm x 700 mm (Š x V x H).²⁰

Tabulka 3.5 – Technická specifikace²⁰

Rychlost pojezdu osy X, Y	6 m/min
Rychlost pojezdu osy Z	1,5 m/min
Pojezdová dráha osy X, Y	300 mm
Pojezdová dráha osy Z	500 mm



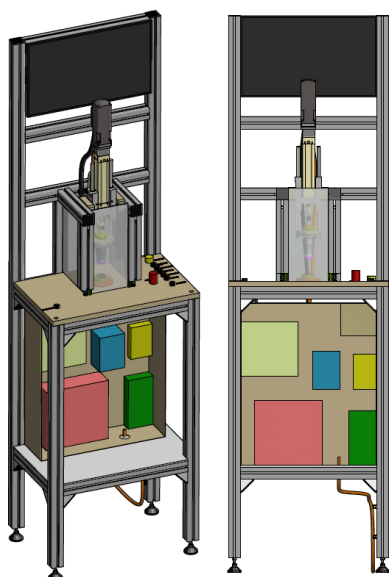
Obrázek 3.8 – TruMark Station 5000



Obrázek 3.9 – Odnímatelné krycí plechy

Servo-lisovací stanice Festo

Lisovací stanice Festo nahrazuje ruční lisování plastového kroužku na součást. Typ lisu Servo Press Kit YJKP s lisovací silou dosahující až 0,8 kN. Lze použít ruční ovládání nebo lze použít do automatizované výrobní linky.



Tabulka 3.6 – Technické parametry lisovací stanice ²¹

Max. síla lisování	0,8 kN
Pracovní zdvih	100
Rychlost posuvu	250 mm/s
Přesnost měření síly	0,25% FS
Montážní poloha	libovolná
Zrychlení	2 m/s ²

Obrázek 3.10 – Náhled servo-lisovací stanice FESTO

3.2.3 Návrh celkového výrobního postupu

Na obr. 3.11 je znázorněn přibližný návrh pracovního prostoru a rozvržena posloupnost jednotlivých operací, kdy šířka výrobní linky by měla být cca 9 metrů, délka pracovní linky je dána všemi stroji, které linka bude obsazena.

Předávání obrobků mezi operacemi OP 10, OP 20 a OP 30 bude probíhat pomocí tříosého robota. Mezi dalšími operacemi se součásti budou přemísťovat pomocí dopravníků a druhého robota.

Ke komunikaci ve všech výrobních operacích je využita komunikační síť PROFIBUS (Process field BUS). Tato průmyslová síť je velmi rozšířená v oblasti průmyslové automatizace. Síť je možno využít ve všech oblastech automatizace, např. pro automatizaci výrobních linek, pro domovní automatizaci (klimatizace). ²²

Obrázek 3.11 – Přibližný návrh pracovního prostoru ²⁵

a) OP 10 – Soustružení

Během operace OP 10 bude na stroji EMAG VL3 prováděno obrábění čela a průměru pod plastové pouzdro včetně sražení hran a podpichu. Stroj je obsazen osmnácti paletkami pro uložení součástí.

Při OP 10 se součást upne do kleštiny za vnitřní průměr 33,8 mm a obrábí se vnější průměr 33,15 mm.

Obrázek 3.12 – Obráběné a upínací plochy ²⁵

Obrázek 3.13 – Vstupní polotovar, paletka pro uložení, výstupní polotovar po OP 10²⁵

b) OP 20 – Lisování

Během operace OP 20 bude na výstupní výrobek, tedy na již obrobenou část z předchozí operace, nalisováno plastové pouzdro. Pouzdro o průměru 33 mm se nalisuje na obrobenou plochu.

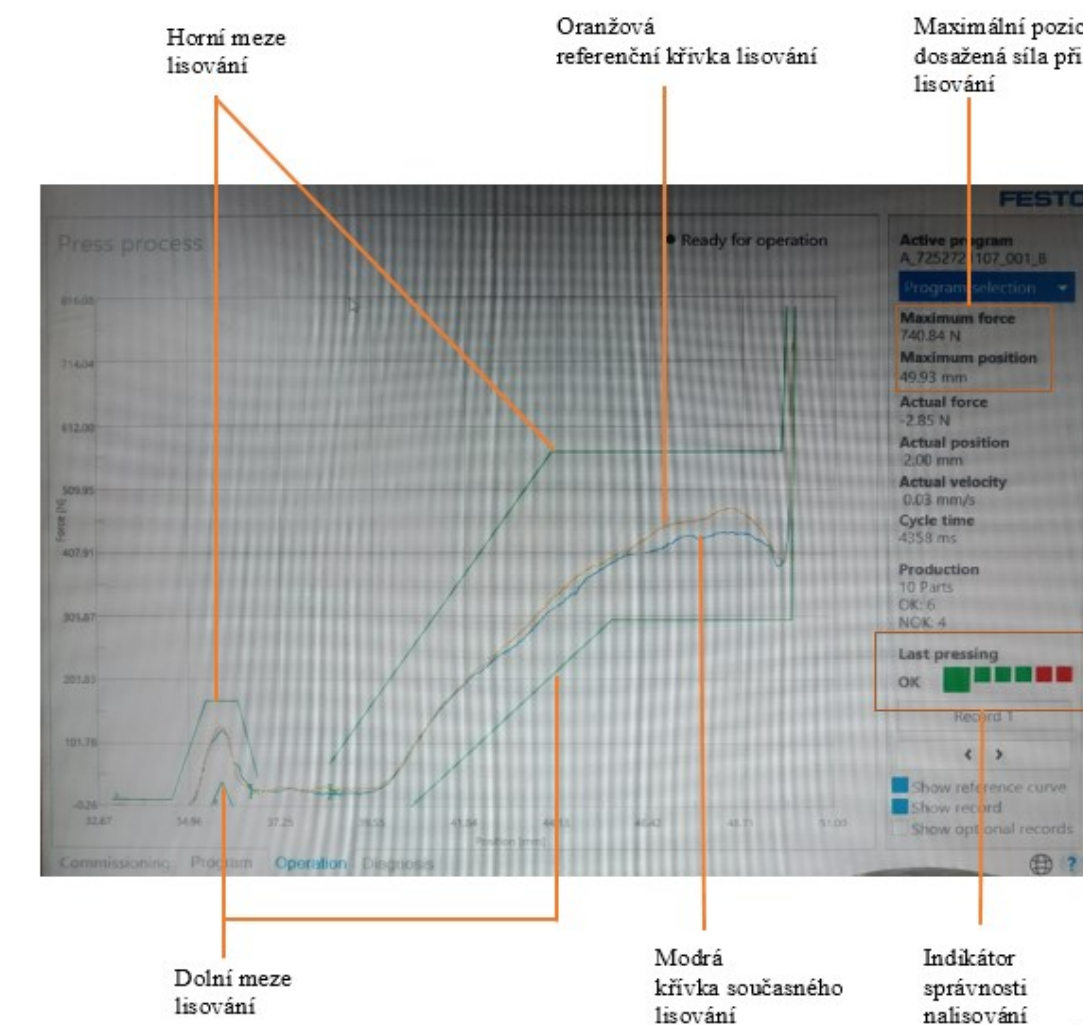
Lisování bude prováděno servo-lisovací stanicí Festo. Tento lis je výhodný pro automatizovanou linku.

Výstupním protokolem z lisování bude grafický záznam průběhu lisování. Ze záznamu se pomocí referenčních hodnot poté vyhodnotí lisování. Pokud jsou hodnoty správné označují se jako OK, pokud ne značí se NOK.

Obrázek 3.14 – Nalisování pouzdra²⁵

Obrázek 3.15 – Umístění součásti v lisovací stanici, výstupní polotovar po OP 20²⁵

Lisovací proces se vyhodnocuje podle předem definované referenční křivky s nastavenými mezemi. V případě, že dojde k odchýlení od referenční křivky, je nutno zkontrolovat správnost nalisování. Na překročení mezí bude upozorněno změnou barvy meze a barevným indikátorem (viz. obr. 3.17). Dále se také vyhodnocuje maximální síla lisování a maximální pozice při dolisování. Lisování nesmí překročit sílu 800 N. Pro úplné dolisování kroužku musí lis při každém lisování dosáhnout minimální pozice 49,85 mm.



Obrázek 3.16 – Graf vyhodnocení lisování

c) OP 30 – Soustružení

U operace OP 30 bude obráběna kontura na plastovém pouzdru, čelo základny C a vnitřní průměr 35H6. Součást se upne do kleštiny za průměr 25,3 mm po délce 7-10 mm.

Tato operace soustružení bude prováděna na soustruhu Emag VL3 DUO. Doprava kusů uvnitř stroje bude prováděna pomocí tříosého manipulátoru Trackmotion. Tento stroj je vhodný pro tuto operaci soustružení hlavně díky tomuto „uchopovači“, který nám součást přepraví bez nutnosti zásahy obsluhy.

Obrázek 3.17 – Upínací a obráběné plochy ²⁵

Obrázek 3.18 – Řez strojem VL3 DUO ²⁵

Obrázek 3.19 – Výstupní obrobek a uložení v paletce při OP 30 ²⁵

d) OP 40 – Gravírování

Při této operaci dochází ke gravírování QR kódu na již obrobený dílec. Popis bude probíhat v laserové stanici od firmy Trumpf. Stanice je vhodná pro automatizovanou linku.

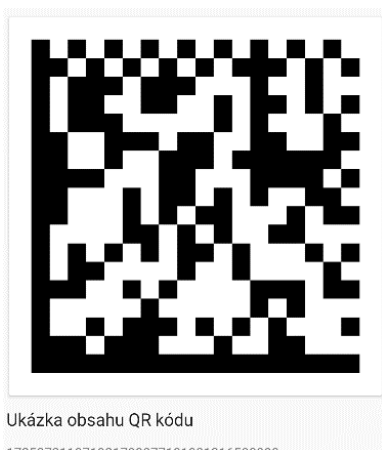
Pro laserové označování je velice důležité, aby součást byla zapolohována co nejpřesněji a plochy musí být důkladně očištěny. Kvalita gravírování bude hodnocena na základě čitelnosti kódu pomocí čtečky. Dále se kontroluje správnost obsahu kódu a drsnost.

Obrázek 3.20 – Ukázkový kus ²⁵

Obrázek 3.21 – Zapolohování dílu ²⁵

Obsah buněk QR-kódu																																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38							
A	M	M	M	K	K	K	V	V	K	K	Y	Y	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	L	H	H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Není povoleno								
1	7	2	5	2	7	2	1	1	0	7	1	9	1	7	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	3	1	6	5	0	0	9	9	9								
Dokončená součást											Číslo Výkresu součásti DAIMLER										Rok výroby		Den výroby		Denní sériové číslo					Výrobní linka		Dodavatel		Číslo výkresu										

Obrázek 3.22 – Obsah buněk QR kódu



Obrázek 3.24 – Ukázka obsahu QR kódu

Obrázek 3.23 – Umístění QR kódu²⁵

e) OP 60 – Měření

U operace OP 60 bude prováděno automatické měření na měřicí stanici Marposs. Na stanici se bude vyhodnocovat průměr 35H6 a průměr 35g6. Na vyhodnocení výsledků měření bude nutná komunikace měřicí stanice se stroji pro automatickou úpravu korekcí.

Na obr. 3.26 je zobrazena konstrukce měřicí stanice, kde je obrobený kus manipulátorem založen do paletky, která se na otočném stole otočí o 180°, tak aby byla na měřicí pozici pod snímačem.

Obrázek 3.25 – Kontrolované rozměry²⁵

Obrázek 3.26 – Měřicí stanice ²⁵

Obrázek 3.27 – Měření součásti ²⁵

3.2.4 Volba obráběcích nástrojů, držáků a VBD

a) Soustružnický nůž vnější T3

Pro operaci OP 10 je použit soustružnický nůž ISCAR PDJNR 2525M-11-JHP s výměnnou břitovou destičkou DNMG 110404-FFG s jakostí IC520N. Tento nůž je vhodný pro polodokončovací a dokončovací operace. Nůž je upnut ve VDI držáku 1114-40 P od výrobce BISON.



Obrázek 3.28 – PDJNR 2525M-11-JHP¹⁸ a nožový držák VDI²³



Řezné podmínky VBD:

$$f = 0,07 - 0,25$$

$$a_p = 0,8 - 3$$

$$v_c = 180 - 350$$

Obrázek 3.29 – DNMG 110404-FFG¹⁸

b) Soustružnický nůž vnější T1, T2

U operace OP 30 – obrábění čela jsou využity duální nože vnější ISCAR SSSCL 2525M-12 s VBD SCMT 120408-SM, jakost IC830. Nože jsou upevněny v nožových držácích EWS 4.4025IK.



Obrázek 3.30 – SSSCL 2525M-12¹⁸ a nožový držák EWS 4.4025IK²⁴



Řezné podmínky VBD:

$$f = 0,08 - 0,15$$

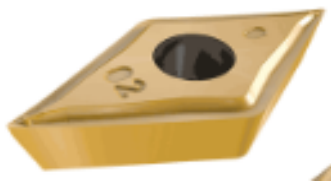
$$a_p = 3 - 8$$

$$v_c = 120 - 200$$

Obrázek 3.31 – SCMT 120408-SM¹⁸

c) Soustružnický nůž vnitřní T5, T6

Duální soustružnické nože vnitřní ISCAR A20R SDUCR-11 s VBD DCMT 11T304-FSM, IC520N jsou využity u operace OP 30. Nože jsou v držácích EWS 27.4020A.



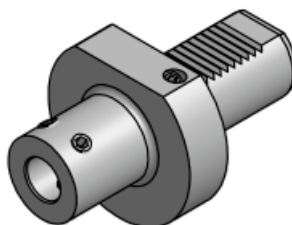
Řezné podmínky VBD:

$$f = 0,07 - 0,25$$

$$a_p = 0,5 - 3$$

$$v_c = 180 - 350$$

Obrázek 3.32 – DCMT 11T304-FSM¹⁸



Obrázek 3.33 – A20R SDUCR-11¹⁸ a držák EWS 27.4020A²⁴

d) Soustružnický nůž T9, T10

Duální soustružnické nože ISCAR SDNCN 2525M-11 s VBD DCGT 11T304-AS, jakosti IC907, jsou použity na obrobení plastu u operace OP 30. Tyto nože jsou upnuty v nožovém držáku EWS 8.4025L2=115.



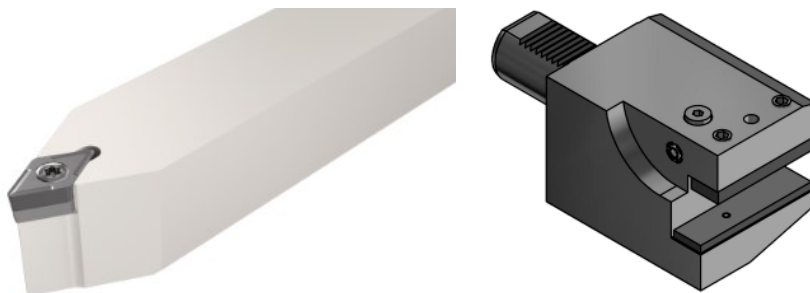
Řezné podmínky VBD:

$$f = 0,05 - 0,25$$

$$a_p = 0,5 - 2,5$$

$$v_c = 180 - 350$$

Obrázek 3.34 – DCGT 11T304-AS¹⁸



Obrázek 3.35 – SDNCN 2525M-11¹⁸ a držák EWS 8.4025L2=115²⁴

3.2.5 Stanovení skutečných řezných podmínek pro operace OP 10 a OP 30

Pro stanovení skutečných řezných podmínek se vycházelo z teoretických parametrů doporučených výrobcem u jednotlivých VBD. Skutečné podmínky se z provozních důvodů a z důvodu dodržení geometrických tolerancí upravovaly. Porovnání skutečných a teoretických řezných podmínek jsou znázorněny v tabulce 3.7.

Tabulka 3.7 – Teoretické a skutečné řezné podmínky

Teoretické	Operace		a_p	f	v_c	n
		OP 10	0,8 – 3	0,07 – 0,25	180 – 350	1637 – 3183
	OP 30	Obrábění čela	3 – 8	0,08 – 0,15	120 – 200	382 – 637
		Obrábění vnitřního Ø	0,5 – 3	0,07 – 0,25	180 – 350	1685 – 3277
Obrábění plast. kroužku		0,5 – 2,5	0,05 – 0,25	180 – 350	1637 – 3183	
Skutečné		OP 10	2	0,25	250	2274
	OP 30	Obrábění čela	3	0,15	200	637
		Obrábění vnitřního Ø	0,5	0,25	270	2528
		Obrábění plast. kroužku	1,5	0,15	240	2183

4 Diskuze experimentů

U výroby této součásti je nejdůležitější dodržení předepsaných rozměrových a geometrických tolerancí. Tyto rozměry jsou předem dané zákazníkem a jejich dodržení je proto klíčové. Dle požadavků zákazníka byl navržen výrobní postup a řezné podmínky doporučené od výrobce ISCAR upraveny tak, aby rozměry odpovídaly předepsaným parametrům.

Obrobená součást bude kontrolována dutinoměry, posuvnými měřidly, mikrometry. Kontrola rozměrů hotové součásti bude prováděna v automatické měřicí stanici Marposs, která je součástí výrobní linky (viz obr. 4.1).

Tabulka 4.1 – Měřené rozměry

Označení	Měřené rozměry	Tolerance
M1	Ø 35,008	+/- 0,002
M2	Ø 35,008	+/- 0,002
M5	Ø 34,983	+/- 0,002
M6	Ø 34,983	+/- 0,002

Obrázek 4.1 – Měřené rozměry stanicí Marposs²⁵

Dále se na součásti bude kontrolovat drsnost pomocí drsnoměru Mitutoyo, geometrické tolerance a rozměry pomocí 3D stanice Zeiss Prismo, ukázka uložení při 3D měření součásti je na obrázku 4.2.

Na obrázku 4.3 je znázorněna kontrola kontury obrobeného plastu na stanici Mitutoyo.

V tabulce 4.2 je přehled jen některých měřených parametrů na 3D stanici Zeiss, dohromady jich je 52.

Obrázek 4.2 – Způsob uložení²⁵

Obrázek 4.3 – Kontrola obrobeného plastu ²⁵

Tabulka 4.2 – Naměřené hodnoty pomocí 3D měřicí stanice Zeiss

Měřený parametr	Tolerance	Jmenovitý rozměr	Naměřené hodnoty		
			1. měření	2. měření	3. měření
Délka 83	+/- 0,1	83	83,016	83,019	83,019
Ø 25,5 max	0,2	25,5	25,662	25,636	25,664
Ø 25,5 min	0,2	25,5	25,604	25,612	25,664
Házení	0,02	0,02 AC	0,012	0,005	0,014
Házení	0,05	0,05 AC	0,04	0,031	0,05
Rovinnost	0,05		0,027	0,028	0,025
Kolmost	0,05		0,027	0,028	0,027
Ø 35H6 max	0,016	35	35,006	35,008	35,009
Ø 35H6 min	0,016	35	35	35	35,001
Rovnoběžnost	0,15	0,15 C	0,07	0,082	0,078
Soustřednost	0,3	0,3 A	0,05	0,091	0,056
Ø 35g6	-0,009	35	34,989	34,989	34,989
Válcovitost	0,01		0,004	0,006	0,005

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

V této kapitole jsou shrnuty výrobní časy jednotlivých operací, dále jsou vypočítány náklady na jednu součást. Výpočtem je zjištěno, zda je docíleno navrhované výrobní série 750 000 – 800 000 kusů za rok.

Výroba jednoho kusu bude trvat přibližně 25 sekund, v tabulce 5.1 jsou vypsány časy jednotlivých operací. Nejdelší operací je OP 30, kde probíhá nejvíce výrobních operací.

Tabulka 5.1 – Výrobní časy

Operace	Časy [s]
OP 10	16 – 18,2
OP 20	7,3
OP 30	50
OP 40	6,8
OP 50	1
OP 60	12,5

5.1 Docílení navrhované výrobní série

Jak už bylo zmíněno, cíl výrobní série je vyrobit 750 000 – 800 000 kusů ročně. Výpočtem ověříme, zda je možné tuto sérii naplnit s takto navrženou výrobní linkou. Budeme počítat s tím, že linka pojede na třísměnný provoz, 52 týdnů v roce.

Nejprve zjistíme počet kusů vyrobených za směnu:

$$p_{ks} = \frac{h \cdot 3600}{t} = \frac{8 \cdot 3600}{25} = 1152 \text{ kusů} \quad (5.1)$$

kde p_{ks} počet kusů za jednu směnu,
 h počet hodin za jednu směnu,
 t čas na výrobu jednoho kusu v sekundách.

Vyrobené kusy za den:

$$p_{ksd} = p_{ks} \cdot 3 = 1152 \cdot 3 = 3456 \text{ kusů} \quad (5.2)$$

Z celkového počtu vyrobených 3456 kusů za den odečteme 30 minut (ztráta 72 kusů) na otočení VBD a další nutné úkony a z celkového vyrobeného množství za týden odečteme 60 minut (ztráta 144 kusů) pro pravidelnou týdenní údržbu.

Vyrobené kusy za týden:

$$p_{kst} = ((3456 - 72) \cdot 5) - 144 = 16\,776 \text{ kusů} \quad (5.3)$$

Vyrobené kusy za rok:

$$p_{ksr} = 16\,776 \cdot 52 = 872\,352 \text{ kusů} \quad (5.4)$$

kde p_{ksd} počet kusů za den v třísměnném provozu,
 p_{kst} počet kusů za týden,
 p_{ksr} počet kusů za rok.

$$\text{Časová rezerva} = \frac{872\,352 - 800\,000}{3456 - 72} = 21,3 \text{ dnů} \quad (5.5)$$

Výpočtem se ověřilo, že je možné navrhovanou technologií výroby dosáhnout 872 352 kusů, což je nad stanoveným plánem výroby. Máme totiž k dispozici časovou rezervu, která nám pokryje například svátky, nepřítomnost pracovníků nebo poruchy strojů. Pokud bychom chtěli objem výroby ještě navýšit, bylo by nutné aby linka jela v nepřetržitém provozu.

5.2 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole jsou provedeny výpočty nákladů pro výrobu jednoho kusu součásti. Tyto výpočty jsou však pouze orientační.

Tabulka 5.2 – Ceny strojů

Stroj	Cena stroje [Kč]
Emag VL3	3 632 000
Lisovací stanice	342 000
Emag VL3 DUO	4 253 000
Ofukovací stanice	150 000
Náklady na automatizaci	4 562 000
Laser se čtečkou	852 000
Měřicí stanice	1 200 000
Celkem	14 991 000

Tabulka 5.3 – Náklady na VBD

Druh VBD	Výdrž VBD [ks]	Počet krabiček [balení]	Cena za krabičku [Kč]	Náklady na rok [Kč]
DNMG 110404-FFC, IC520N	110	727	1200	872 400
SCMT 120408-SM, IC830	220	363	2300	834 900
DCMT 11T304-FSM, IC520N	110	727	1330	966 910
DCGT 11T304-AS, IC 907	220	363	2700	980 100
Celkem				3 654 310

- Náklady na osazení strojů – 534 000 Kč
- Náklady na roční údržbu – 200 000 Kč
- Náklady na obsluhu vypočítáme podle počtu vyrobených kusů, budeme počítat se mzdou 840 Kč za den, což činí 0,032 Kč za vteřinu, za jeden vyrobený kus 0,78 Kč
- Náklady na elektřinu za rok – 500 000 Kč

$$\text{Roční mzda pracovníka} = 0,78 \cdot 800\,000 = 622\,222 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

$$\text{Roční mzda třech pracovníků} = 3 \cdot 622\,222 = 1\,866\,666 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

$$(5.8)$$

$$Ná\ za\ 10\ let = 14\,991\,000 + 36\,543\,100 + 534\,000 + (200\,000 \cdot 10) + (1\,866\,666 \cdot 10) + (500\,000 \cdot 10)$$

$$\text{Náklady za 10 let} = 77\,734\,760 \text{ Kč}$$

Počítáme s tím, že projekt bude trvat po dobu deseti let. Pokud chceme na výrobě vydělat alespoň 20 000 000 Kč, náklady včetně výdělku budou 97 734 760 Kč.

$$\text{Cena na 1 kus} = \frac{97\,734\,760}{800\,000 \cdot 10} = 12,22 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout moderní technologii obrábění pro danou součást ve spolupráci s firmou ZLKL, s. r. o. Loštice.

V úvodní části byl proveden popis součásti a představena firma ZLKL, dále také nastíněna problematika obrábění složitých součástí. V této části byly představeny starší metody obrábění, současné programování CNC obráběcích strojů, ale také modernější metody obrábění, kam se řadí například nekonvenční metody obrábění.

Další kapitola se zabývá již vlastním návrhem výroby. Technologie výroby byla navržena tak, aby bylo možné součást vyrobit v plně automatizované lince. Dle tohoto byly zvoleny obráběcí stroje a další stroje nutné pro výrobu dané součásti nutné pro automatizovanou linku. Pro zvolené obráběcí stroje byly zvoleny řezné nástroje a k nim vhodné výměnné břitové destičky. Tyto nástroje byly voleny od firmy ISCAR a měly předepsané teoretické řezné podmínky. Řezné podmínky se musely upravovat dle naměřených hodnot, tak aby dosahovaly předepsaným vlastnostem obráběných ploch.

Ve finální části bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení vyrobené součásti. V této kapitole je přehled výrobních časů u každé operace a sečten celkový čas na výrobu součásti. Dále bylo výpočtem prověřeno, zda dojde k dodržení navržené výrobní série. Do ekonomického zhodnocení spadá výpočet nákladů na jednu součást, tato cena je ale pouze orientační.

Závěrem lze říct, že automatizovaná linka s navrženým výrobním postupem dokáže za rok vyrobit stanovený počet kusů s přijatelnými náklady na jejich výrobu.

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc., panu Bc. Lukášovi Havlíčkovi a Ing. Zdenku Tollrianovi za vedení, ochotu a trpělivost s vedením bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] *Usske* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.usske.sk/sk/produkty/ocel-valcovana-za-tepla/vysokopevna-mikrolegovana-ocel>
- [2] *ZLKL* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/o-spolecnosti>
- [3] *Elbee* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.elbeemobility.cz/parametry>
- [4] *Technologie II* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [5] *Alfun* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/ocel>
- [6] SADÍLEK, Marek a Jaroslav DUBSKÝ. *Obrábění I – výběr přednášek*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3831-1
- [7] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Marek SADÍLEK, Lenka PETŘKOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2020-05-03]. ISBN 978-80-248-15053. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [8] *Popis základních částí univerzálního hrotového soustruhu* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/02000.html>
- [9] KUBÍČEK, Ing. Miroslav. *Obrábění* [online]. Brno [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-08.pdf
- [10] *Způsoby upínání nástrojů a obrobků* [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65180.
Bakalářská práce. VUT Brno.
- [12] *Souřadnice polohy obrobku* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: http://www.finweb-zk.mzf.cz/?page_id=96
- [13] POLÁŠEK, Jaromír. *Číslicově řízené stroje* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- [14] BLÁHA, Karel. *Programování CNC strojů* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13279/mod_resource/content/1/Ru%C4%8Dn%C3%AD%20programov%C3%A1n%C3%AD%20ro%C4%8Dn%C3%ADk_NOV%C3%81.pdf
- [15] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.

- [16] *CZ.TECH Čelákovice: EMAG* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.cztech.cz/index.php/cz/emag>
- [17] *EMAG* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.emag.com/machines/turning-machines/multi-spindle-automatics/vl-3-duo.html>
- [18] *ISCAR* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx>
- [19] *FTP Plastics: Průmyslové plasty* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.prumysloveplasty.cz/polyacetal/>
- [20] *Trumpf: Označovací systémy* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/popisovaci-systemy/trumark-station-5000/
- [21] *Festo* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/default.aspx?q=YJKP&tab=3&s=t#result
- [22] *Profibus* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/site/profibus/>
- [23] *Bison-Bial S.A* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.bison-bial.com/vdi-toolholders/1114-40-p>
- [24] *EWS: Online katalog* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.ews-tools.de/OnlineCatalogue>
- [25] Interní dokumenty firmy ZLKL, s. r. o.